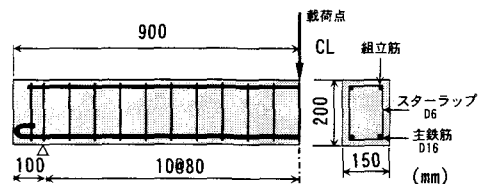


内部欠陥を有する鉄筋コンクリートはりのポストピーク挙動に関する解析的研究

中部大学 ○ 亀田好洋 中部大学 正員 伊藤 陸
中部大学 正員 小林孝一 中部大学 正員 水野英二

1. はじめに

本研究では、アルカリ骨材反応（ASR）により生じるせん断補強鉄筋（スターラップ）の破断および施工不良により生じる内部空隙（ジャンカ）などの内部欠陥が鉄筋コンクリート（RC）はりの耐荷性能ならびにポストピーク挙動に与える影響について解析的に検証した。ここでは、スターラップ切断の本数、ジャンカサイズおよび位置を要因として採り挙げ、内部欠陥が存在する周辺のコンクリートへの拘束効果を変化させた有限要素解析を実施し、解析結果と実験結果¹⁾とを比較することにより、コンクリートへの拘束効果について考察した。

図-1 供試体の断面形状および寸法¹⁾

2. 供試体概要および解析モデル

2.1 供試体概要

供試体は内部欠陥の有無、スターラップ間隔ならびに内部欠陥の形態により異なる。本解析では、これらを組み合わせた全 18 供試体を解析対象とした。図-1 に供試体の断面形状および寸法を、表-1 に供試体の材料諸強度に示す。なお、実験の詳細については文献¹⁾を参照されたい。

表-1 供試体の材料諸強度¹⁾

コンクリートの圧縮強度	29.6～45.4 MPa
コンクリートのヤング係数	27.2～33.7 GPa
主鉄筋の種類	SD295, D16
鉄筋の降伏強度	347.8 MPa
鉄筋の引張強度	520.5 MPa
鉄筋のヤング係数	200.1 GPa

2.2 解析モデル

実験の荷重形態として、はり中央部への 1 点集中荷重を採用した。よって、解析モデルにおいては図-2 に示すように、はり中央を固定端、はり支点を自由端とする片持ちばりに置き換えた解析モデルを用い、プッシュオーバー（一方向荷重）解析を有限要素解析プログラム（FEAP）⁴⁾により実施した。本解析で用いた材料構成モデルとして、主鉄筋部分には水野らが開発した修正二曲面モデル²⁾を、コンクリート部分にはひずみ軟化型モデル³⁾を採用した。図-3 にひずみ軟化型モデルにおける一軸応力-ひずみ関係を、図-4 には断面分割図を示す。

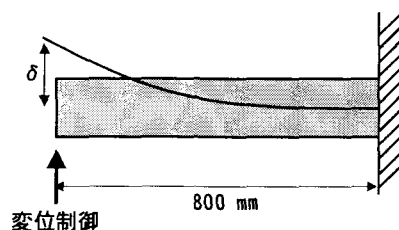
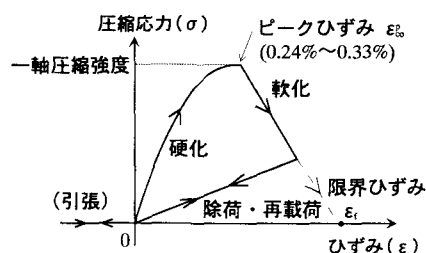


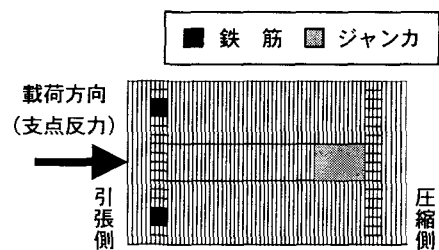
図-2 解析モデル

図-3 ひずみ軟化型モデル³⁾

2.3 解析ケース

本解析では、1) 内部欠陥の有無、2) スターラップ間隔 ($s = 60, 80, 100$ mm) および 3) 内部欠陥の形態を考慮し、計 18 種類の解析ケースを設定した。内部欠陥として、スターラップ破断ならびにジャンカを想定し、それら内部欠陥の数量、位置および異なるサイズを設定した。また、実験における内部欠陥の再現方法としては、スターラップの破断はそれの切断により、ジャンカは発泡スチロール（立方体）により再現した。

解析上の内部欠陥の取り扱いとしては、内部欠陥が位置する周辺のコンクリートが受ける拘束効果は内部欠陥を有さないコンクリートが受けるそれに比べて低減すると仮定し、内部欠陥周辺のコンクリートの応力-ひずみ関係における軟化勾配（限界ひずみ ϵ_f ）を変化させ、拘束効果の低減を図った。図-5 にスターラップ破断を考慮した場合の限界ひずみ ϵ_f の低減方法を示す。

図-4 断面分割の一例
(ジャンカ大きさ 30 mm 角, 位置 30 mm)

※: 供試体上面からジャンカ上面までの距離

3. 解析結果および考察

ここでは、一例としてスターラップ1本切断ならびにジャンカ 30 mm, 供試体上面からの埋設深さ 45 mm のケースについて考察を行う。

3.1 解析ケース 1: スターラップ1本切断による影響 (スターラップ1本切断供試体)

スターラップ1本切断供試体に対する実験結果ならびに解析結果を図-6 に示す。はり中央部 (図-5 に示す1要素目) のスターラップ切断区間の限界ひずみ $\varepsilon_f = 7\%$ から 1% まで 1% ずつ段階的に変化させて解析を実施した。解析から、限界ひずみ $\varepsilon_f = 5\%$ を用いた解析結果のピーク耐力, ピーク変位およびポストピーク挙動が欠陥 (スターラップを切断) を有する供試体の実験結果と概ね一致した。また、限界ひずみ $\varepsilon_f = 7\%$ を用いた解析結果は、内部欠陥を有さない供試体 (健全供試体) に対する実験結果と概ね一致することから、スターラップを切断することにより、ピーク耐力およびピーク変位の低下が見られるものの、コンクリートへの拘束効果は低下しないことが推測される。

3.2 解析ケース 2: ジャンカによる影響 (ジャンカ供試体)

ジャンカ供試体に対する実験結果ならびに解析結果を図-7 に示す。ジャンカもスターラップ切断の場合と同様に、ジャンカが存在するはり断面内の限界ひずみを $\varepsilon_f = 5\%$ から 1% まで段階的に変化させて解析を実施した。限界ひずみ $\varepsilon_f = 1\% \sim \varepsilon_f = 2\%$ を用いた解析結果は実験から得られたピーク耐力および変位と概ね一致する。また、限界ひずみ $\varepsilon_f = 5\%$ を用いた健全供試体に対する解析結果は、健全供試体の実験結果と概ね一致することから、ジャンカ供試体の場合、健全供試体の挙動に比べピーク耐力ならびにピークひずみが低下し、かつ低変位でポストピーク挙動に移行することが考察される。また、ポストピーク領域においては、ジャンカ周辺のコンクリートへの拘束効果が急激に低下し、脆性的な破壊挙動を呈することも分かった。

4. まとめ

- 1) 内部欠陥を有する RC はりは健全な RC はりに比べて、ピーク耐力およびピーク変位の低下が見られ、また、低変位レベルでポストピーク挙動に移行することが分かった。
- 2) ジャンカを含む RC はりは、スターラップ破断を含む RC はりに比べて、低変位レベルでポストピーク挙動に移行することから、ジャンカ周辺のコンクリートの拘束効果が低下することが分かった。
- 3) ひずみ軟化型モデル³⁾ における限界ひずみ ε_f を変動させることにより、内部欠陥を含む RC はりの解析を行うことができた。

謝辞

本研究は平成 16 年度土木学会中部支部調査研究委員会ワークショップ助成金により行ったことを記し、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 小林孝一, 伊藤 睦, 水野英二: 内部欠陥を有する RC はり部材の耐荷性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.331-336, 2005.
- 2) 水野英二ら: 鋼素材に対する修正二曲面モデルの一般定式化, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.40A, pp.235-248, 1994.
- 3) 水野英二, 松村寿男, 畑中重光: 繰り返し載荷を受ける鉄筋コンクリート柱のポストピーク挙動解析, コンクリート工学論文集, 第13巻3号, pp.47-60, 2002.
- 4) Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method, Third Ed., (吉織・山田監訳「マトリックス有限要素法」), 培風館, pp.672-796, 1984.

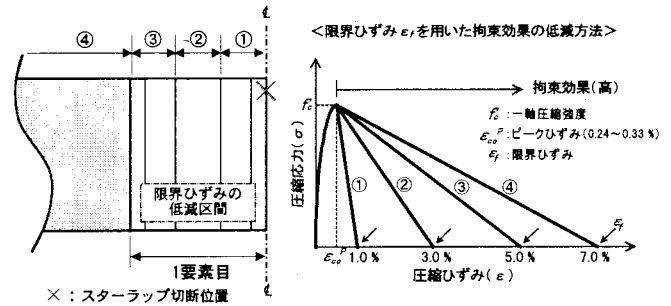


図-5 拘束効果の低減方法の一例

(スターラップ1本切断, 切断位置最寄り限界ひずみ $\varepsilon_f = 1\%$ の場合)

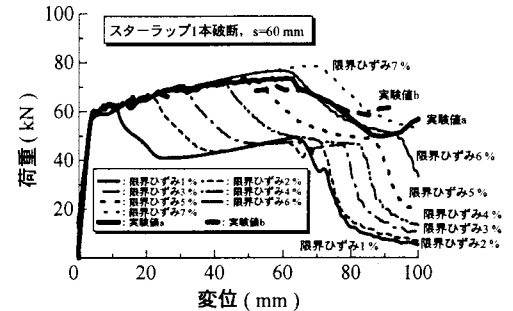


図-6 スターラップ切断供試体の一例¹⁾
(中央1本破断, $s=60$ mm)

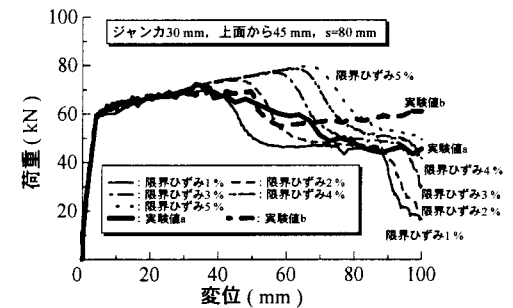


図-7 ジャンカ供試体の一例¹⁾
(大きさ 30 mm 角, $s=80$ mm, 上面*から 45 mm)
*: コンクリート上面からジャンカ上面までの距離